

大規模群杭および連続地中壁基礎の地震応答解析法に関する研究

著者	増田 潔
号	1390
発行年	1993
URL	http://hdl.handle.net/10097/10197

氏 名	増 田 潔
授 与 学 位	博 士 (工 学)
学 位 授 与 年 月 日	平 成 5 年 4 月 14 日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 41 年 3 月 自由学園最高学部卒業
学 位 論 文 題 目	大規模群杭および連続地中壁基礎の地震応答解析法 に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 杉村 義広 東北大学教授 和泉 正哲 東北大学教授 柴田 明德

論 文 内 容 要 旨

本論文は、大規模群杭および連続地中壁基礎からなる複合基礎を有する構造物の耐震設計法を確立していく上で重要な課題となる合理的かつ実用的な地震応答解析法を開発することを目的として実施した研究の内容とその成果を記述したものであり、次の5章から構成されている。

- 第1章 序論
- 第2章 群杭基礎を有する構造物の地震応答解析法
- 第3章 大規模群杭基礎の動的インピーダンスの解析法
- 第4章 複合基礎の地震応答解析法
- 第5章 結論

本論文では、弾性波動理論に基づいた、群杭・地盤系の動的相互作用解析に必要となるグリーン関数の計算法について述べ、杭を深さ方向に離散化することによる誤差を除けば厳密解である精算解析法を示した。また、この精算解析法により、群杭基礎の動的インピーダンスおよび基礎入力動を解析してその基本的な特性についての検討を行い、さらに、上部構造との連成地震応答解析より求めた群杭の地震時応力について考察した。

次に、実際の群杭基礎を解析するに当たり、上記の精算解析法による結果を踏まえ、大規模群杭に適用可能な近似解析法を提案した。この近似解析法は、大規模群杭基礎を有する構造物の地震応答解析をスウェイ・ロッキングモデルで行う際に必要となる群杭・地盤系の動的インピーダンスの解析に供するものである。本法は、2本杭間のみでの杭頭柔性を重ね合わせて、群杭の動的インピーダンスを求める実用的かつ合理的な方法であり、工学的に十分な精度で動的インピーダンスを短時

間で算定することができる。また、基礎から杭頭に作用する力の分布を仮定して動的インピーダンスを計算する簡便な方法についても示した。

最後に、杭と連続地中壁を併用した複合基礎の動的インピーダンスおよび基礎入力動についての検討を行うとともに、複合基礎の地震応答解析モデルとして地盤・複合基礎系を一本棒にモデル化した質点系モデルを提案した。これらの実用的な近似解析法の適用性を、実構造物の群杭基礎で実施した強制加振実験結果のシミュレーション解析により確認した。以下に各章の研究成果をまとめて示す。

第1章では、本論文の目的・位置付けを明確にするとともに、関連研究についての整理を行った。関連する研究の現状は次の通りである。

- ① 群杭基礎の動的相互作用問題については、動的インピーダンスおよび基礎入力動の動特性を系統立てて検討する必要がある。
- ② 群杭基礎を有する構造物の地震応答解析において、地震時の杭応力について詳細に検討したものは少ない。
- ③ 群杭の動的相互作用問題を取り扱っている研究は、杭本数が50本以下の小規模群杭に関するものであり、実在の群杭基礎のごとく杭本数が数百本に及ぶ大規模群杭についての解析的研究は皆無である。
- ④ 群杭と連続地中壁からなる複合基礎を有する構造物の地震応答解析法に関する研究は少なく、複合基礎の地震時の力学特性の研究が必要とされる。

以上のように、大規模群杭および複合基礎に関しては不明な点が多々あり、さらに研究する必要がある。また、解析的研究の成果については実験や観測等の検証が必須である。

近年、ウォーターフロント地域等の軟弱な地盤において、大規模群杭基礎あるいは複合基礎で支持された構造物が多数計画・建設されている。このような場合には、建設地点固有の地震入力基礎を考え、それを含む地盤・基礎・上部構造の一体型連成解析が必要とされる。本論文はこのような要請に応じるものである。

第2章では、群杭の動的インピーダンスと基礎入力動に関して、杭を深さ方向に離散化することによる誤差を除けば相互作用効果を厳密に評価し得る三次元弾性波動理論に基づくグリーン関数を用いた動的サブストラクチャー法について記述している。例題として、正方格子状に配置された基本的な群杭基礎に関して動的インピーダンスと基礎入力動の検討を行い、さらに、上部構造を連成させた地震応答解析結果から杭の地震時応力に関して検討した。本章の研究結果は次の通りである。

- ① 群杭の影響は剛性を表す動的インピーダンスの実部に顕著に現れるが、虚部にはあまり現れない。
- ② 粘性系に等価な群杭の減衰定数は、剛性と同様に群杭の影響の概念が適用できる。
- ③ 基礎入力動については、水平動の場合には群杭の押さえ込みによる入力損出効果がある。また、振動数が高くなるにつれて水平動の基礎入力動は漸減する。回転動の基礎入力動は低振動数域で振動数が高くなるにつれて漸増する傾向がある。
- ④ 成層地盤において地層間の波動インピーダンス比が杭の応力に与える影響は非常に大きい。ま

た、杭の位置による地震時応力の差異はせん断力に顕著に現れ、曲げモーメントには余り現れない。

- ⑤ 上部構造の固有周期が地盤の固有周期に近づくと、杭頭近傍の地震時応力は増大し、上部構造の慣性力による応力が支配的になる。一方、地盤震動による杭の地震時応力は地盤の層境界で顕著となる。

第3章では、実際の重量構造物の群杭基礎を想定し、杭本数が非常に多い大規模群杭基礎の動的インピーダンスの近似解析法を示した。本法により、短時間に数百本に及ぶ大規模群杭基礎の動的インピーダンスが工学的に十分な精度で算定できることを示した。本章の研究成果は次の通りである。

- ① 算定する動的インピーダンスの方向を限定すれば、杭頭の変形自由度を3自由度としたものは、5自由度のものと一致し、2自由度でも十分な精度で算定できる。
- ② さらに簡略な方法として提案した応力加振法の一様分布仮定による解は上記①の略算解析法より若干小さめに、剛版分布仮定による解は低振動数域で略算解析法とほぼ一致する。
- ③ これらの近似解析法の解析結果で実在の大規模群杭基礎の強制加振実験の結果をよく説明できる。
- ④ 群杭係数 β と杭本数 N との関係は、式 $\beta = b N^{-c}$ の形で回帰され、杭間隔が狭く、地盤が均質に近い場合には水平、鉛直とも $\beta = N^{-0.5}$ が適用できるが、回転の場合および成層地盤での水平、鉛直、回転の群杭係数は $\beta = N^{-0.5}$ の値よりかなり大きくなる。

第4章では、杭と連続地中壁を併用した複合基礎を有する構造物の地震応答解析法について検討した。この種の基礎に対しては、建設地点固有の地震入力基盤から伝搬してくる地震動エネルギーが複合基礎を介して構造物に入力される動的相互作用問題を忠実に解析するための地盤・複合基礎・上部構造一体型の連成応答解析モデルが必要となるため、実設計に適用が可能な簡易な質点系モデルを提案した。この質点系モデルの適用性を、精度の高い解析法による結果および実在の複合基礎の強制加振実験結果と比較・検討することにより確認した。本章の研究成果は次の通りである。

- ① 水平加力時の深さ方向の水平変位分布は、加力方向と平行な連続地中壁のウェブ部分はその位置も一様の変位となるが、加力方向と直交するフランジ部分では若干小さくなる。また、モーメント加力時の連続地中壁部分の回転角には有意な差は認められず、平面保持の条件が概ね成り立っている。
- ② 複合基礎の場合、せん断力はその殆どが連続地中壁で負担される。また、連続地中壁の抵抗のメカニズムとして、せん断力はウェブ部分で、モーメントはフランジ部分で大部分負担している。
- ③ 複合基礎を地盤との動的相互作用を考慮した曲げ・せん断型の質点系モデルとした解析法は、軸対称有限要素による場合と動的インピーダンスおよび基礎入力動がよく一致する結果を得る。
- ④ 以上の力学特性から地盤・複合基礎の簡略な質点系モデルとして、複合基礎を曲げ・せん断型の1本棒モデルとし、地盤との動的相互作用を複合基礎の各離散点間で連成する複素剛性として評価する方法を示し、軸対称有限要素により解析した動的インピーダンスおよび基礎入力動について比較した結果、質点系モデルとの差異は小さく、質点系モデルの適用性を確認した。

- ⑤ 提案した簡易な質点系モデルは実在の複合基礎の強制加振実験結果をよくシミュレートすることを確認した。

以上の様に本論文では，大規模群杭および連続地中壁杭を有する構造物の耐震設計に資することを目的として，合理的かつ実用的な地震応答解析法を提案し，解析的及び実証的に提案した解析手法の検証を行った。

審 査 結 果 の 要 旨

大規模群杭および連続地中壁基礎で支持された高層建築物の地震応答解析には、基礎と地盤の動的相互作用を考慮する必要があるが、この動的相互作用問題には、なお多くの未解決点が残されている。本論文は、まず地盤と基礎の動的相互作用の精算解析法を開発し、次にこれを簡略化した近似解析法に発展させ、地盤・基礎・上部構造の動的相互作用を考慮した、実用的かつ合理的な高層建築物の地震応答解析法を提案したものであり、全編5章よりなっている。

第1章は序論であり、本研究の目的と背景を述べている。

第2章は、三次元弾性波動論に基づく群杭・地盤系の動的相互作用解析に必要となるグリーン関数の計算法を数値解析的に効率よく求める方法について述べ、杭を深さ方向に離散化することを除けば厳密解が求められる精算解析法を示している。また、この精算解析法により、群杭基礎の動的インピーダンスおよび基礎入力動を解析し、その基本的動特性を検討するとともに、上部構造との連続地震応答解析より求めた群杭の地震時応力についての考察を行っている。

第3章では、第2章での精算解析法による群杭・地盤系の動的特性の結果を踏まえ、大規模群杭基礎に適用可能な近似解析法を提案している。この近似解析法は、大規模群杭基礎を有する構造物の地震応答解析をスウェイ・ロッキングモデルで行う際に必要となる群杭・地盤系の動的インピーダンスの解析に供するものである。本法は、2本杭間のみでの杭頭柔性を重ね合わせて、群杭・地盤系の動的インピーダンスを求める実用的かつ合理的な方法であり、工学的に十分な精度であることを精算解析法による解析結果および実構造物の強制加振実験結果のシミュレーション解析で検証している。

第4章では、杭と連続地中壁を併用した複合基礎の静的力学特性を検討し、連続地中壁と杭の応力分担を調べるとともに、動的力学特性として動的インピーダンスおよび基礎入力動を検討し、地盤・複合基礎系を一本棒にモデル化した質点系モデルを提案している。また、これらの実用的方法の適用性は実構造物の強制加振実験結果のシミュレーション解析で確認している。

第5章は結論である。

以上、本論文は大規模群杭基礎や複合基礎の動的相互作用を実用的かつ合理的に解析する方法を取りまとめたものであり、構造物の耐震設計解析に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。